International Science Journal of Engineering & Agriculture
2022; 1(5): 86-105
https://isg-journal.com/isjea/
doi: 10.46299/j.isjea.20220105.11
ISSN: 2720-6319

INTERNATIONAL SCIENCE GROUP

Темна матерія як енергія зв’язку речовини

Іван Карпенко
Українська нафтогазова Академія (УНГА), Київ, Україна
ORCID 0000-0002-2500-8960

Для цитування цієї статті:
Карпенко Іван. Темна матерія як енергія зв’язку речовини. International Science Journal of Engineering & Agriculture Vol. 1, No. 5, 2022, pp. 86-105. doi: 10.46299/j.isjea.20220105.11.
Надійшла до редакції: 07 жовтня 2022 р.; **Схвалено:** 13 жовтня 2022 р.;
Опубліковано: 01 грудня 2022 р.

Анотація. Проблема темної матерії або темної маси полягає в тому, що спостерігаючись в експериментах, вона не має теоретичного обґрунтування. Спроби її пояснення наявністю екзотичних матеріальних об'єктів, нових елементарних частинок або зміною формул тяжіння приводять до результатів, що не узгоджуються між собою. У роботі пропонується фізичне пояснення феномена існування темної маси. При цьому використовуються: відомий факт еквівалентності маси та енергії; теорія відкритих складних (або композитних систем), до яких віднесено галактику; теорія закритих систем (зірка, атомне ядро, нуклон, кварк, преон); гіпотеза про те, що первинна кінетична енергія частинок, що виникла при Великому Вибуху, є джерелом енергетичного поля зв'язку. Показано, що чорна маса – це не що інше, як поділена на квадрат швидкості світла енергія зв'язку речовини всередині галактики. Приблизно, щонайменше п'ятикратне перевищення маси галактики над сумою мас її зірок свідчить про те, що величина енергії зв'язку речовини галактики щонайменше у п'ять разів більша сумарної енергії спокою її зірок. Практична можливість вивчення енергії зв'язку всередині речовини галактики пов'язана з тим, що віднімання з маси спокою галактики, як відкритої системи, величини суми мас спокою зірок (закриті системи) не супроводжується відніманням відповідних значень енергій зв'язку. Це пояснюється тим, що вирази для енергій зв'язку у відкритій та закритій системах у відповідних формулах мають протилежні знаки. Тому, навпаки, віднімання з маси галактики суми мас зірок призводить до практично подвоєного значення енергії зв'язку (або темної матерії). Порівняння величин енергій зв'язку, пов'язаної з кінетичною енергією руху зірок, з енергією зв'язку всередині атома та атомного ядра, показують їх недостатність для пояснення величини темної маси, що спостерігається. Робиться припущення, що достатня для цього кількість енергії зв'язку знаходиться всередині кварків, що складаються з преонів, про що свідчать експериментальні значення імпульсів преонів. Визначення темної маси через енергію зв'язку речовини галактики пояснює, чому вона має тільки гравітаційні властивості, не бере участі в електромагнітній взаємодії, не світиться і не поглинає світло і, відповідно, недоступна прямому спостереженню.

Ключові слова. Темна маса, енергія зв’язку, відкриті системи, закриті системи, галактика, зірка, атомне ядро, кварк, преон.

1. Вступ

Згідно з існуючими даними загальна маса-енергія Всесвіту складається приблизно на 4,9% зі звичайної (що світиться або баріонної) матерії, на 26,8% з темної матерії і на 68,3% з темної енергії, гіпотетично відповідальної за розширення космосу, що прискорюється [*Рубаков,2019;*

Темна материя,2018,2021;Mayumdars,2014;Sanders,2010]. Таким чином, Всесвіт на 95,1% складається з темної матерії та темної енергії.

Нині вважається, що темна матерія – це форма матерії, яка не бере участі у електромагнітній взаємодії і тому недоступна прямому спостереженню. Виявляється лише у гравітаційній взаємодії. Поняття темної матерії було введено для пояснення проблеми прихованої маси, що виявляється в ефекті аномально високої швидкості обертання зовнішніх областей галактик та ефекті гравітаційного лінзування в галактичних асоціаціях. Склад та природа темної матерії все ще залишаються невідомими.

2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є фізична природа співвідношення маси та енергії в часовоподібному континуумі. Предметом дослідження є феномен темної маси - спостерігаючись в експериментах, вона не має теоретичного обґрунтування.

3. Аналіз літератури

Якщо фізики і не знають, що таке темна матерія, то щодо її існування впевненості значно більше. Уявлення про темну матерії появилось ще в 1933 році, коли Фріц Цвікі проаналізував швидкості галактик в одному скупченні галактик і прийшов до висновку, що гравітаційне тяжіння, яке надається видимою матерією, не може утримати галактики, що рухаються з великими швидкостями, від покидання скупчення.

Через десятиліття Віра Рубін і Кент Форд, спостерігаючи за зірками, що обертаються на краю галактик, знайшли ще один доказ «темної матерії» Цвіки. Зірки мали рухатися тим повільніше, чим більше вони віддалені від центру галактик, подібно до того, як зовнішні планети нашої Сонячної системи повільніше рухаються навколо Сонця. Натомість зовнішні зірки рухалися так само швидко, як зірки, що знаходилися ближче до центру, але при цьому галактики не розпадалися. Щось доповнювало гравітаційне тяжіння [*Темна материя,2018,2021*].

Але й зараз ніхто не може точно сказати, що собою являє темна матерія. Про важливість та масштабність досліджень природи темної матерії можна судити за висловлюванням: «Світ в очікуванні найбільшого відкриття людства» [*Темна материя,2018*]. Вже кілька десятиліть йдуть спроби осягнути природу цієї темної матерії. Поки що всі докази існування цих прихованих мас ґрунтуються на спостереженні рухів видимих мас. Тому, залишаючись в рамках існуючих теорій, астрономи можуть пояснювати незрозумілу динаміку галактик лише припущенням, що загальна маса, що створює тяжіння у Всесвіті, в багато разів більша, ніж та, що світиться [*Захаров, 2003*].

Зазначимо, що уявлення про ***темну енергію*** в рамках теорії постньютонівського (ПН) наближення теорії гравітації викладено в роботі [*Карпенко,2022а,б,в,г*]. Вони ґрунтуються на гравітаційному впливі релятивістської маси галактик Всесвіту, що розбігаються, які мають швидкості порівняні зі світловими швидкостями, на галактики всередині Всесвіту. Теоретичною основою такого впливу є те, що в теорії ПН-наближення маси поза порожньою сферою створюють гравітаційне поле в точці всередині порожньої сфери, причому спрямоване не до центру сфери, а в протилежний бік, забезпечуючи тим самим прискорене розширення Всесвіту.

Темна матерія також може представлятися як прояв кінематичної маси (енергії), властивої об'єктам, що рухаються, що входять в те чи інше матеріальне тіло, у тому числі і в галактики. Але швидкість руху, наприклад, зірок галактики (перші сотні кілометрів за секунду) відповідно до формул спеціальної теорії відносності не в змозі забезпечити значення релятивістської маси в 5 разів більше за масу зірки, що покоїться.

Таке збільшення, на думку автора, забезпечується тим, що у релятивістській динаміці не виконується закон збереження маси [*Новиков, 1983; Ландау та Лифшиц, 2006*]. У разі галактики, як відкритої системи, закон не збереження маси проявляється в тому, що сума мас спокою зірок галактики менша за масу спокою всієї галактики. Тому природно припустити, що різниця між масою спокою галактики та сумарною масою спокою її зірок становить темну масу. Звідси і гравітація, створена масою галактики, виявляється більшою сумарної гравітації від її зірок.

У нашій роботі відповідно до релятивістської теорії природа темної матерії трактується дещо ширше. Сумарна кінетична, гравітаційна, електромагнітна та ядерна енергія, що забезпечує цілісність організації речовини у вигляді галактик, зірок, атомних ядер, протонів та нейтронів, кварків та преонів розглядається як енергія зв'язку речовини. В еквівалентному відношенні вона і є тим, що називається темною матерією або темною масою, яка і створює гравітаційні поля сукупностей галактик, окремих галактик і зірок.

Спочатку в короткому викладі представимо відомі нам уявлення про фізичну сутність і властивості темної матерії для того, щоб згодом продемонструвати наскільки запропонована нами гіпотеза може їх пояснити.

4. Мета та задачі дослідження

Мета роботи - запропонувати фізичне пояснення феномена існування темної маси, показати, що темна маса – не що інше, як поділена на квадрат швидкості світла енергія зв'язку речовини всередині галактики. Задачами дослідження є обґрунтування того, що:

- Джерелом енергетичного поля зв'язку речовини є первинна кінетична енергія частинок, що виникла при Великому Вибуху.
- П'ятикратне перевищення маси галактики над сумою мас її зірок свідчить про те, що величина енергії зв'язку речовини галактики щонайменше у п'ять разів більша сумарної енергії спокою її зірок.
- Методичним засобом пояснення феномена темної маси є різне співвідношення маси і енергії в теорії відкритих складних (або композитних систем), до яких віднесено галактику, та теорії закритих систем (зірка, атомне ядро, нуклон, кварк, преон).

5. Методи досліджень

5.1. Властивості темної матерії

Гравітаційні взаємодії всередині скупчень галактик показують, що в них сумарна маса, яка визначає гравітацію всього скупчення, приблизно в 5 разів більша за масу видимої (баріонної) речовини. І ця маса у скупченні галактик розподілена приблизно рівномірно. Це субстанція, що не світиться і не поглинає світло, це щось інше, що збирається докупи, в даному випадку - в скупчення галактик. Друге свідчення існування темної матерії пов'язане з рухом зірок усередині окремої галактики. Виявилося, що орбітальна швидкість зірок не падає із віддаленням від центру галактики. Іншими словами, гравітаційні виміри показують, що всередині галактики є деяка матеріальна субстанція, що має гравітацію.

Враження таке, що всі наші галактики у скупченнях галактик та зірки у самих галактиках занурені у велике гало темної матерії. Але тоді і в Сонячній системі за масою темної матерії має бути стільки ж і навіть більше, ніж речовини, що світиться, але це не підтверджується в експериментах [*Рубаков,2019*].

Існує також думка, що великомасштабна структура Всесвіту формується в основному темною речовиною, що і скелет Всесвіту також зібраний з темної речовини, що в центрі галактик домінує звичайна речовина, тоді як поза центром та на їх периферії переважає темна речовина [*Попов,2019,2021*].

Розглянемо основні гіпотези, що використовуються в даний час для пояснення фізичної природи темної матерії.

5.2. Чорні діри?

Існує гіпотеза, що темна матерія може виявитись розподіленою по чорних дірах. Раніше фіксували чорні дірки в мільйони і навіть трильйон разів більше сонячної, або дрібніші чорні дірки з масою порівнянною із сонячною. Але зараз виявлені чорні дірки, які важчі за Сонце в 30-60 разів. Тому з'явилося припущення, що такі чорні дірки середнього розміру можуть виявитися тією самою темною матерією, яку шукають уже понад 50 років. Але поки що за існуючими оцінками чорні діри можуть розглядатися лише як мала частина темної матерії. Те саме стосується спроб уявлення темної матерії через сукупності мас нейтронних, кваркових або преонних зірок. До того ж, і в більш доступній для досліджень Сонячній системі подібних об'єктів не виявлено [*Попов, 2019, 2021*].

5.3. Нова елементарна частка?

Невидимість темної матерії дуже ускладнює її пошук. Але зараз уже достовірно відомо, що ця прихована маса не складається з якихось відомих частинок. Темна матерія – це не кварки, не електрони, не нейтрино чи бозони Хіггса. Це щось нове. Вважається, що є ще невідкрита частка – частка темної речовини. Може це не одна, а ціла родина нових частинок [*Кирпичики,2018*].

За існуючими оцінками гіпотетична природа темної матерії зводиться до існування електрично нейтральних важких частинок масою 100-1000 мас протона, які стабільні і слабо взаємодіючі, крім гравітаційного взаємодії, з речовиною. При цьому їхня стабільність має пояснюватись якимось новим законом збереження. Але пошуки подібних частинок у підземних лабораторіях, у Великому колайдері наразі не дали результатів.

Як уже згадувалося, життєздатний кандидат на темну матерію має бути стабільною або довготривалою частинкою, що не розпадається на інші частки. Очікується, що це характерно для найлегших із суперсиметричних партнерів частинок, а саме, зіно, хіггсіно чи фотіно, які також вважаються підходящими кандидатами на темну матерію [*Грин,2004;Саскинд,2013*].

В даний час пошуки елементарної частинки темної речовини зосередилися на вімпах - масивних частинках, що слабко взаємодіють (Weakly Interacting Massive Particles, WIMPS). Вважається, що це фундаментальні частки, що залишилися з ранніх часів, коли фундаментальні взаємодії природи були об'єднані і поводилися зовсім не так, як сьогодні. Більшість космологів вірять, що ця проблема є чисто технологічною. Вона буде вирішена, як тільки збудують досить потужний інструмент для їх виявлення.

5.4. Нові теорії гравітації?

Появилось також припущення, що на великих відстанях гравітація веде себе не зовсім так, як пророкували Ейнштейн і Ньютон. А звідси висновок – немає жодної темної матерії, а необхідно модифікувати сам закон тяжіння [*Захаров,2003;Темна,2018*].

У зв'язку з цим широко відоме висловлювання астронома Віри Рубін - однієї з першовідкривачів темної матерії, яка провела точні та надійні обчислення, що вказують на наявність темної матерії: «…саме ньютонівські закони мають бути змінені для правильного опису гравітаційних взаємодій на великих відстанях. Це привабливіше, ніж Всесвіт, наповнений новим типом суб-ядерних частинок». Одна з альтернативних моделей - модифікована ньютонівська динаміка (MOND), згідно з якою сила тяжіння слабшає з відстанню плавніше, ніж стверджував Ньютон [*Мілгром,1983*].

Одним із підтверджень на користь необхідності модифікації теорії тяжіння є існування «проблеми сингулярного гало» у будові галактик. Відповідно до моделювання на основі теорій Ньютона або ВТО темна матерія в галактиці падатиме в центр, стягуватиметься в ядро галактики набагато сильніше, ніж в інші регіони. Однак астрономічні спостереження, що призвели до виявлення ефекту темної матерії, показують зворотну картину: темна матерія утворює гало навколо галактики, тобто міститься в тілі галактики або заповнює порожнечі між скупченнями галактик і не тяжіє до центрів скупчення речовини в космічному просторі [*Sanders,2010; Гальпер та ін.,2014; Majumdar,2014*].

Як заперечення проти неефективності чи незастосовності теорій Ньютона чи ОТО наведемо два аргументи. Перший зводиться до того що закономірність розподілу щільності речовини у тілі галактики загалом вписується у закономірності подібного розподілу системи зірка-планети й окремо для розподілу речовини всередині планети.

Так, третій закон Кеплера випливає з умови, згідно з якою доцентрова сила при русі планети по замкнутій криволінійній траєкторії повинна дорівнювати силі гравітаційного тяжіння:

$$m\omega r = G\frac{mM}{r^2}, \quad (1)$$

де m – маса планети, $\omega = 2\pi/T$, T – період обертання планети, r – радіус орбіти. Головне, на що ми звернемо увагу, це те, що прискорення тяжіння обернено пропорційне квадрату відстані планети від зірки.

Але відзначимо, що наявність вже не однієї, а кількох планет у зірки, призводить до того, що їх реальні орбіти відрізняються від еліптичних і мають більш складний вигляд внаслідок взаємного впливу планет однієї на іншу.

У разі галактики, як і в попередньому випадку, зірка на орбіті утримується рівністю прискорення тяжіння та відцентрового прискорення $a_c(r) = \frac{v^2(r)}{r}$, де v – лінійна орбітальна швидкість. Оскільки для центральних і більш віддалених від центру галактики ділянок орбітальна швидкість зберігає практично постійне значення, тобто $v^2(r) = const$, то робимо наступний висновок. Якщо у випадку системи зірка-планета величина прискорення тяжіння планети до центру зірки зменшується згідно із законом зворотних квадратів (параболічним), то у разі «насиченої» зірками галактики – за більш слабким гіперболічним законом.

І, нарешті, у разі планети Земля прискорення тяжіння збільшується від нуля в центрі Землі до значення 1069,3 см/с2 на відстані 3485.7 км від центру, а далі аж до її поверхні (радіус Землі 6371 км) практично стабілізується з незначним зменшенням до 9819 см/с^2 на поверхні.

Таким чином, маємо закономірну зміну прискорення тяжіння у напрямку від центру мас системи: від квадратичного закону для «порожнього» простору (r^{-2}) до гіперболічного (r^{-1}) для «насиченого» зірками в галактиках і до постійного значення (r^0) - на планетах з "суцільною" речовиною. Інакше кажучи, немає підстав для висновку про аномальний розподіл щільності речовини всередині галактик. Проблема в іншому, що досі все ще немає точних аналітичних рішень для систем, що складаються з трьох і більше тіл. Тому віднаходяться наближені рішення з використанням додаткових фізичних параметрів будови таких систем.

Одним із прикладів такого рішення є задача розподілу густини речовини всередині Землі. І це другий аргумент на користь того, що немає необхідності шукати модифікації закону тяжіння, закон обернених квадратів Ньютона виявляється справедливим і в даному випадку. На його основі та використанні додаткової інформації про швидкості поширення поздовжніх та поперечних хвиль у тілі Землі отримано знамените рівняння Адамса-Вільямсона, яке дозволило з високою точністю визначити детальний розподіл щільності у надрах Землі та, відповідно, побудувати реальну модель Землі [*Жарков,1983;Пантелеев,2001*].

Використання модифікованої теорії тяжіння Ньютона (ПН-наближення) у цьому випадку також не вирішує проблеми, оскільки область її застосування обмежена відстанями від центру галактики приблизно рівними її гравітаційному радіусу, який дорівнює 0,476 світлових років,

тоді як розмір галактики (129000 світлових років) на багато порядків більший [*Карпенко,2020а;Логунов,2006*].

Наведені аргументи хоч і звужують сектор пошуку відповіді на питання, що таке темна матерія, проте не знімають самої проблеми. Якщо справа не в нових теоріях гравітації, то питання про можливість присутності в будові Всесвіту (зокрема галактик) нових або ще не врахованих форм матерії залишається відкритим.

6. Результати досліджень

Нижче буде показано, що проблема темної матерії вирішується в рамках ОТО з використанням уявлень про релятивістську енергію/масу механічної системи, а саме, що в релятивістській теорії відсутній закон збереження маси, маси складних систем можна порівнювати лише з урахуванням їхньої енергії зв'язку.

І що ще є важливим. Для пояснення фізичної природи темної енергії також використовувалася релятивістська, але кінематична, енергія переважно віддалених галактик, що рухаються зі швидкостями, близькими до світлових значень. Для пояснення фізичної природи темної матерії буде використано не так кінематична, скільки енергія спокою системи, що складається з сукупності тіл, а також енергії спокою окремих тіл (зірок) у сукупності, що знаходяться всередині галактики.

6.1. Визначення маси галактики через її орбітальну та кутову швидкість

Станом на січень 2009 року, маса Галактики оцінювалася в $3{\cdot}10^{12}$ мас Сонця, або $6{\cdot}10^{42}$ кг. Оцінка, опублікована в травні 2016 року астрофізиками з Канади, визначила масу Галактики всього в $7{\cdot}10^{11}$ мас Сонця. У 2019 році, об'єднавши нові дані місій «Gaia» і «Hubble», астрономи визначили, що маса Чумацького Шляху, в радіусі 129 000 світлових років від центру Галактики, становить близько $1{,}5\cdot10^{12}$ мас Сонця.

Маса галактик визначається за допомогою рівняння типу (1) шляхом встановлення орбітальної швидкості руху зірок. Як випливає з виду (1), спосіб визначення не залежить від маси зірки, що використовується. Існують і інші можливості.

Так, для галактик, що повільно обертаються, якими є, наприклад, еліптичні галактики, можна по розширенню спектральної лінії оцінити середню швидкість зірок в системі і, зіставивши її з істинними розмірами галактики, визначити її масу. Існують способи, що використовують встановлену статистичну залежність між масою та інтегральною світністю галактик різного типу та інші.

У найпростіших випадках точність визначення маси вбирається у 20 %, у складних випадках невпевненість визначення мас галактик можна характеризувати коефіцієнтом 2-5 (маса може бути у кілька разів більша чи менша), якщо надійно визначено відстань до них. Висловлюється думка, що маса невидимої (що не світиться) речовини галактик може в 10 і більше разів перевершувати масу речовини, що світиться [*Темна материя,2018,2021;Mayumdars,2014;Sanders,2010*].

Приблизно така сама оцінка маси Галактики міститься у роботі [*Наша галактика,2012*]: «Зірки становлять лише крихітну частку маси Галактики. Решта – ореол темної матерії, який оточує кожну зірку, кожен об'єкт галактики. Зірки – це тільки центральна частина, ореол приблизно в 10 разів більший і більш ніж у 10 разів важчий, ніж усі зірки, газ, пил та все що ми бачимо. Вся ця структура і є справжня галактика Чумацький Шлях. І це правильно не тільки для нашої Галактики».

Вище згадувався спосіб визначення маси Галактики через значення орбітальних швидкостей зірок. Нижче оцінка маси буде зроблена, виходячи із припущення про сталість кутової швидкості обертання тіла галактики. Тобто з припущення, що основна маса галактики зосереджена в її рукавах, рух яких характеризується сталістю кутової швидкості.

Виходимо з того, що на наш погляд існування галактичних рукавів є наслідком дії припливної сили з боку супутників галактики. Кожна пара рукавів пов'язана зі своїм супутником. Кількість пар рукавів дорівнює кількості супутників галактики. Приливне прискорення дорівнює нулю в центрі галактики і зростає вздовж радіальної лінії, що об'єднує центр галактики і супутника, утворюючи припливне здуття. Друге здуття, що дорівнює за величиною першому, утворюється на протилежному боці галактики.

Кожна пара рукавів рухається подібно до шпиць в колесі з постійною кутовою швидкістю, що визначається кутовою швидкістю відповідного супутника. Викривлення рукава пов'язане з тим, що припливне тертя збільшується у напрямку поверхні галактики.

Швидкість руху рукава визначається швидкістю руху відповідного галактичного супутника. Якщо орбіта останнього кругова, то кутова швидкість рукава буде постійною величиною, яка не залежить від відстані до центру Галактики. Якщо ж не кругова, швидкість рукава не буде постійною величиною і це більш ймовірна ситуація. До того ж і різні пари рукавів рухатимуться з різною швидкістю через відмінність у швидкостях різних галактичних супутників. Тому припущення про сталість значення кутової швидкості обертання речовини галактики, звичайно, потребує додаткового обґрунтування експериментальними спостереженнями.

З нашої точки зору сприятливим матеріалом для вивчення кутової швидкості обертання рукавів є палеонтологічна шкала Землі, яка по суті фіксує катастрофічні кліматичні зміни на її поверхні, пов'язані, як нам здається, зі знаходженням Сонця всередині рукава або поза ним. У палеонтологічній шкалі виявляються цикли з періодичністю приблизно 45 млн. років, природа яких інтерпретується не стільки як тектонічна, скільки як кліматична, пов'язана з періодичністю проходження Сонячної системи через ущільнені рукави Галактики [*Карпенко, 2012*].

Але зараз розглядатимемо Галактику у вигляді «хмари» зірок, що обертаються навколо її центру з незалежною від віддалення r від центру постійною кутовою швидкістю $\omega = 2\pi/T$, де T = 200 млн. років. Маса Чумацького Шляху, в радіусі 129000 світлових років від центру Галактики, становить близько $1.5 * 10^{12}$ мас Сонця (дані 2019 року). Тобто, її гравітаційний радіус в $1.5 * 10^{12}$ разів більший гравітаційного радіусу Сонця, рівного приблизно 3000 м, і у світлових роках становить 0,476 світлового року, а середня щільність $4{,}0 * 10^{-22}$ (кг/м^3).

Дослідимо у наближенні Ньютона розподіл густини речовини всередині галактики. Зірка на орбіті утримується рівністю прискорення тяжіння $a_g(r) = \frac{GM(r)}{r^2}$, $0 < r < r_0$, де r_0 - радіус Галактики, і відцентрового прискорення $a_c(r) = \frac{v^2(r)}{r} = \omega^2 r$, де v – лінійна, а _ω – кутова орбітальна швидкість. Її загальна маса $M = \frac{4}{3}\pi r_0{}^3 \bar{\rho}(r_0)$, де ρ¯- середня щільність речовини Галактики, тоді як маса m, що зосереджена у межах сфери радіусом r, дорівнює, відповідно, $\frac{4}{3}\pi r^3 \bar{\rho}(r)$.

Прирівнюючи вирази для прискорень a_g та a_c з урахуванням того, що гравітаційний радіус $r_g(r) = 2Gm/c^2$, отримуємо:

$$\frac{r_g}{r^3} = \frac{2\omega^2}{c^2} \tag{2}$$

Вираз (2) примітний тим, що при постійному значенні кутової швидкості ω щільність речовини всередині галактики не залежить від віддалення її від центру, тобто є постійною величиною. Справді, прирівнюючи вирази для маси через гравітаційний радіус ($m(r) = r_g(r)c^2/2G$) та середню щільність ($m(r) = \frac{4}{3}\pi r^3 \bar{\rho}(r)$), отримуємо:

$$\bar{\rho}(r) = \frac{3c^2}{8\pi G} * \frac{r_g}{r^3} = \frac{3c^2}{8\pi G} * \frac{2\omega^2}{c^2} = const \tag{3}$$

Тобто, якщо зірки рухаються з однаковою кутовою швидкістю, то в теорії Ньютона це означає щільнісну однорідність галактики. Визначимо значення цієї густини, прийнявши, що $\omega = 2\pi/T$, $T = 200$ млн.років, $c = 3 * 10^5$ км/с, $\frac{3c^2}{8\pi G} = 1{,}61 * 10^{26}$ (кг/м), $\frac{c^2}{2\omega^2} = 5{,}06638 * 10^{14}$ (св. років)^2. Отримуємо $\rho = 3{,}55 * 10^{-21}$ (кг/м^3).

Це значення приблизно в 8,9 разів перевищує щільність $4{,}0 * 10^{-22}$ (кг/м^3) за даними місій «Gaia» і «Hubble». Якщо останні вважати щільністю «видимої» маси, то загальна щільність речовини в Галактиці з гравітаційними властивостями приблизно в 9 разів більша.

Уявляється, що проведене дослідження цікаво тим, що показує стійкість одержуваних оцінок маси Галактики у сенсі їхньої практичної незалежності від обраного методу визначення. І у припущенні сталості орбітальної швидкості, й у припущенні сталості кутовий швидкості оцінки маси майже одні й самі – приблизно 9 -10 разів більше маси видимої матерії.

Відштовхуючись переважно від роботи [*Захаров,2003*] наведемо необхідні визначення, що стосуються релятивістської маси, енергії, а головне – співвідношень, які пов'язують ці характеристики у складних механічних системах типу галактика.

6.2. Релятивістська маса та енергія

Залежність між масою тіла m у стані руху та його масою m_0 у стані спокою має вигляд:

$$m = \sqrt{\frac{m_0}{1 - v^2/c^2}}, \tag{4}$$

де v - швидкість руху тіла. Цей вираз для маси і називається релятивістською масою. З (4) випливає, що якщо швидкість тіла v мала, то в системі, що «покоїться», релятивістська маса тіла $m \approx m_0 + \frac{1}{2} m_0 v^2/c^2$, тобто дорівнює сумі власної маси тіла і величини, яка пропорційна його кінетичній енергії.

Релятивістська енергія для матеріальної точки має вигляд:

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \tag{5}$$

При малих значеннях швидкості v:

$$E \approx m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2 = E_0 + T_{\text{ньют}}. \tag{6}$$

Доданок $T_{\text{ньют}}$ - це ньютонівський вираз кінетичної енергії тіла, яке рухається зі швидкістю v. Перший доданок $E_0 = m_0 c^2$ у ньютонівській механіці відсутній. Він називається енергією спокою матеріальної точки, що має масу спокою m_0.

Для нашої задачі наявність маси спокою у тіла є принциповою обставиною, оскільки, як обґрунтовуватиметься нижче, саме відмінністю в масах спокою галактики як цілого та сумарної маси спокою всіх її зірок і пояснюватиметься феномен темної матерії.

Про вплив маси спокою на об'єкти, що рухаються, можна судити з наступного прикладу. При малих швидкостях руху тіла E_0 настільки ж порядків перевищує T , наскільки c^2 перевищує v^2. Так, при $v = 10$ м/с енергія спокою E_0 перевищує кінетичну енергію T на 15 порядків, а при характерній швидкості зірок усередині Галактики, що дорівнює 200 км/с, – приблизно в мільйон разів. Тим не менш, будучи основною за величиною, енергія E_0 не виявляє себе в механічних взаємодіях. Визначальне її значення полягає у формуванні гравітаційного поля.

За механічні взаємодії відповідає релятивістська кінетична енергія, яка має вигляд:

$$T = E - E_0 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2. \tag{7}$$

Як видно з формули, релятивістська кінетична енергія визначальне значення має при великих швидкостях, зростаючи безмежно при устремлінні швидкості тіла до швидкості світла. Цей факт ми використали для пояснення фізичної сутності темної енергії.

Формула (5) для релятивістської енергії показує, що наявність у частки енергії E означає наявність у неї маси E/c^2, і навпаки. Тобто маса, яка в класичній механіці інтерпретується як міра інертності тіла, або як міра його гравітаційної дії, в релятивістській механіці виступає в новій функції - це міра енерговмісту тіла. При цьому «енерговміст» тіла включає будь-який вид енергії, що міститься в тілі, у тому числі, наприклад, внутрішньоядерної енергії, що звільняється при ядерному вибуху [*Захаров,2003*].

Формула для релятивістської енергії застосовна не тільки до окремого тіла (матеріальної точки), але і до будь-якого складного тіла, що складається з багатьох частинок. Нехай механічна система як ціле спочиває (не рухається), і нехай M_0 - її маса спокою. Якщо вона складається з частинок, що незалежні одна від іншої, з масою спокою m_{0k} кожна, то її релятивістська енергія дорівнює сумі релятивістських енергій частинок, що входять до її складу, тобто:

$$M_0 c^2 = \sum_k m_{0k} c^2. \tag{8}$$

Але коли частинки складного тіла взаємодіють між собою, тоді повна енергія $M_0 c^2$ тіла містить, крім енергії спокою частинок, що входять до його складу, їх кінетичну енергію, а також енергію їх взаємодії один з одним (приклад - енергія ядерної взаємодії частинок, що утворюють ядро атома). У цьому випадку енергія $M_0 c^2$ тіла вже не дорівнює сумі $\sum_k m_{0k} c^2$, тобто $M_0 \neq \sum_k m_{0k}$. Це означає, що у релятивістській динаміці не виконується закон збереження маси.

У релятивістській механіці маса та енергія системи залежать від її складу та внутрішнього стану. Стосовно внутрішнього стану системи взаємодіючих частинок поділяють на два типи: системи, які можуть самовільно розпадатися, і системи зв'язані, тобто такі, які мають запас міцності.

Якщо система розпадається, то її релятивістська енергія частково переходить у кінетичну енергію $T \geq 0$ частинок, що звільнилися; для цього, отже, необхідне виконання умови:

$$M_0 c^2 = \sum_k m_{0k} c^2 + T, \tag{9}$$

Або $M_0 > \sum_k m_{0k}$. Тобто, тіло може самовільно розпастися лише на частини, сума мас спокою $\sum_k m_{0k}$ яких менша за масу M_0 спокою тіла. Але якщо:

$$M_0 < \sum_k m_{0k}, \tag{10}$$

те тіло самовільно не розпадається. Для здійснення розпаду до тіла необхідно докласти енергію не меншої різниці:

$$\left(\sum_k m_{0k} - M_0\right) c^2 = E_t, \tag{11}$$

де E_t– енергія зв'язку тіла, а $E_t \,/\, c^2 = \Delta m$– дефект мас складного тіла.

6.3. Фізична природа енергії зв'язку

Оскільки енергія та маса з точністю до постійного множника c^2 дорівнюють один одному, і будь-яка енергія створює гравітаційне поле, то з урахуванням еквівалентності інертної та гравітаційної мас кінетичну енергію T і дефект мас Δm можна розглядати як «важку», або гравітаційну масу, яка дає свій внесок у загальне гравітаційне поле, що створюється складним тілом.

Покажемо, що для розуміння сутності темної маси галактики необхідний облік вище названих фізичних сутностей – кінетичної енергії, зосередженої всередині галактики, і властивої речовині галактики енергії зв'язку. Іншими словами, темна матерія галактики або, що одне і те ж, темна маса – це з точністю до множника c^2 сума кінетичної енергії зірок усередині галактики та енергії зв'язку речовини всередині зірок, що визначається енергією, що утримує цілісність самої зірки, атомів, ядер, протонів і нейтронів і таке інше.

6.4 Галактика як відкрита система

Звернемося до деякого початкового періоду формування галактик, коли існувала деяка хмара «найпростіших» однотипних частинок речовини з масою спокою ν_0.

Якби жодна така частка ще не належала ні зіркам, ні ядрам атомів, ні протонам, нейтронам і так далі, тобто була незалежною, до того ж і не рухалася, то рівняння для повної маси спокою галактики чи деякої хмари частинок мало б вигляд :

$$\mathcal{M}_0 c^2 = \sum_l \nu_{0l}\, c^2, \quad l = 1, L\,, \tag{12}$$

де L – кількість таких частинок.

Ситуація, представлена виразом (12), що передбачає відсутність руху частинок, є фізично нереальною. За наявності руху, коли всі частинки з самого початку мають імпульс руху, повна енергія галактики крім мас спокою частинок буде містити і їх сумарну кінетичну енергію T_0 , тобто:

$$\mathcal{M}_0 c^2 = \sum_l \nu_{0l}\, c^2 + T_0, \quad l = 1, L \tag{13}$$

Оскільки в (13) $T_0 > 0$, то $\mathcal{M}_0 c^2 > \sum_l \nu_{0l}\, c^2$ і, відповідно, така ще несформована галактика згідно з визначенням є відкритою системою. У процесі подальшої еволюції за рахунок кінетичної енергії формуватимуться все більш складні об'єкти – кварки, лептони (протони та нейтрони), ядра, атоми та молекули речовини та, зрештою, складові галактику зірки. Частина кінетичної енергії, витрачена на підтримання цілісності речовини таких об'єктів, називатиметься енергією їхнього зв'язку E.

З урахуванням енергії зв'язку вираз для повної маси галактики подаємо у вигляді:

$$\mathcal{M}_0 c^2 = \sum_l \nu_{0l}\, c^2 + E + T,\ \ T_0 = E + T,\ \ l = 1, L \tag{14}$$

Надалі символом T позначатимемо лише кінетичну енергію руху зірок усередині галактики, а символом E позначатимемо всі види енергії зв'язку між частинками ν_{0l}, у тому числі і кінетичну енергію всіх рухів частинок усередині зірок. Таким чином, зв'язок між повною енергією спокою галактики - $\mathcal{M}_0 c^2$ та сумарною енергією спокою її зірок - $\sum_k M_{0k} c^2$ представимо через сумарну кінетичну енергію зірок T та енергію зв'язку речовини всієї галактики E:

$$\mathcal{M}_0 c^2 = \sum_k M_{0k} c^2 + T + E,\ \ T = \sum_k T_k,\ \ E = \sum_k E_k, \quad k = 1, K\,. \tag{15}$$

Тут M_{0k} – маса спокою окремої зірки, а K – кількість зірок у галактиці, E_k – сумарна енергія зв'язку речовини всередині зірки.

Про те, що наша Галактика, як і інші галактики подібного типу, є відкритою системою, можемо судити вже за експериментально встановленим фактом більш ніж п'ятикратного перевищення її маси $\mathcal{M}_0$, виміряної за величиною прискорення далеких зірок над сумарною масою зірок $\sum_k M_{0k}$, отриманою також переважно за величиною прискорення планет. Тобто Галактика як складне тіло згідно зі спостереженнями містить приблизно в 5-10 разів більше маси, ніж його міститься у всіх її зірках.

Друга ознака відкритості – Галактика обмінюється речовиною або енергією з навколишнім середовищем, наприклад, зі своїми супутниками, які сприяють у результаті припливного тертя утворенню галактичних рукавів. Більше того, можна зробити висновок, що як відкрита система Галактика досягла у своєму розвитку квазістаціонарного стану, в якому її структура та найважливіші структурні характеристики залишаються майже постійними, тоді як сама вона здійснює із середовищем обмін, як речовиною, так і енергією.

6.5. Умова квазістаціонарного стану галактики

Зазначимо, що вираз (15), крім кінетичної енергії зірок, не містить енергію зв'язку між зірками галактики. Покажемо, що можливість знехтувати енергію зв'язку між зірками галактики є наслідком квазістаціонарного стану цієї зіркової системи.

Як правило, вважається, що необхідною умовою тривалого стабільного виду галактики є рівність для кожної зірки прискорення тяжіння і відцентрового прискорення, що виражається через третій закон Кеплера. З цієї рівності:

$$\frac{GM(r)}{\left(r+r_g\right)^2} = \frac{v^2(r)}{r+r_g(r)}\,, \tag{16}$$

Де $r_g(r)$ – гравітаційний радіус речовини галактики, що знаходиться усередині сфери радіусом r. Для досить віддалених від центру галактики зірок виконується умова $r \gg r_g(r)$. В результаті отримуємо, що:

$$v^2(r) = \frac{GM(r)}{r} \quad . \tag{17}$$

Вище наведений вираз (17) для орбітальної швидкості $v^2(r)$ не що інше, як вираз для гравітаційного потенціалу орбіти радіусом r. Тому сталість швидкості $v^2(r) = const$ означає сталість гравітаційних потенціалів цих орбіт, тобто $\varphi(r) = \frac{GM}{r+r_g} = const.$

Але сталість значень гравітаційного потенціалу орбіт означає відсутність сили, що прагне пересувати зірки з однієї орбіти на іншу. Іншими словами, якщо рівність прискорення тяжіння та доцентрового прискорення є необхідною умовою стійкості орбіти, то рівність гравітаційних потенціалів сусідніх орбіт є достатньою умовою її стійкості.

Можна констатувати, що експериментальне встановлення сталості орбітальної швидкості руху зірок у зовнішній зоні галактик стало важливим поштовхом розуміння їх будови, особливо проблеми стійкості галактичних орбіт зірок. Але якими фізичними процесами обумовлено цю сталість? Чому у зовнішній зоні галактик орбіти зірок характеризуються приблизно однаковими гравітаційними потенціалами?

Очевидно, єдино можливим поясненням є принцип мінімальної енергії, який властивий стійким системам, що самоорганізуються. Стосовно галактик наслідком його реалізації є виконання двох умов: встановлення рівності прискорення тяжіння та доцентрового прискорення як необхідної умови стійкості орбіти, та рівності гравітаційних потенціалів орбіт – достатня умова. Тому виявлення в галактиках сталості орбітальних швидкостей не є якоюсь

екзотичною несподіванкою, а є звичайною фізичною необхідністю для стабільного чи квазістабільного (з урахуванням того, що ближче до центру галактики умова сталості орбітальної швидкості не виконується) існування галактики.

Таким чином, зірки не падають до центру галактики не тільки внаслідок рівності гравітаційного тяжіння та доцентрового прискорення, а й унаслідок рівності гравітаційних потенціалів сусідніх орбіт, що не дозволяє переміщатися зіркам з однієї орбіти на іншу. Рівність орбітальних швидкостей є наслідком досягнення зоряною системою галактики її квазістаціонарного стану. Звідси висновок: усі зірки, які потрапляють під умову квазістаціонарного стану, рухаються геодезичними траєкторіями, тобто такими, на яких жодна з них не впливає на рух інших зірок. Тобто, всі такі зірки є ніби незалежними одна від одної, тому сумарна енергія їх зв'язку нульова або зневажливо мала в порівнянні з їх сумарною енергією спокою.

6.6 Первинна кінетична енергія частинок як джерело енергетичного поля зв'язку

Порівняємо відносні величини доданків у рівнянні (13). Якщо умовно прийняти, що ν_{0l} це маса «найпростішої» частинки, то приходимо до таких висновків. По-перше, $\mathcal{M}_0 c^2 \gg \sum_l \nu_{0l}\, c^2$ через відкритість системи, причому не менше ніж у п'ять разів. По-друге, величина швидкості частинок, що утворилися в результаті Великого Вибуху, близька до швидкості світла і, відповідно, їхня кінетична енергія теж повинна характеризуватися великими значеннями.

Справді, величина $\frac{v^2}{c^2}$, що характеризує відношення кінетичної енергії сучасної зірки до її маси спокою, набагато порядків менше одиниці. Для, наприклад, п'ятикратного перевищення T_0 над $\sum_l \nu_{0l}\, c^2$, у відповідності з формулою (4), необхідно, щоб початкові швидкості всіх частинок були близькими до світлових значень, а не характеризувалися значеннями в перші сотні кілометрів за секунду, характерними для сучасних зірок.

Ми не будемо тут розглядати, яку величину кінетичної енергії мали первинні частинки, щоб її вистачило на забезпечення всіх названих (і неназваних) видів енергетичної взаємодії і, відповідно, створюваних полів зв'язку. Зазначимо тільки, що згідно з (7) при швидкостях часток близьких до швидкості світла така первісна кінетична енергія може досягати скільки завгодно великих значень. Добавимо, що в результаті Великого Вибуху так звані безмасові частинки (фотони), що утворилися, рухаються і зараз зі швидкістю світла. Тому найлегші, умовно - докваркові, частинки цілком могли мати швидкість достатню для забезпечення Всесвіту необхідною енергією зв'язку.

А зараз спробуємо відповісти на запитання, якою є фізична природа енергії зв'язку? Вважатимемо, що частки - це події часовоподібного (ЧП) світу, відмінною властивістю якого є можливість збігу двох подій у просторі, тобто властивість, яка зазвичай вважається властивістю гравітації. Тому спочатку частинки будуть об'єднуватися в кварки або ще дрібніші утворення - преони, пізніше - в лептони, ядра і т. д.

Але слід зазначити, що згідно з нашою моделлю на початковому етапі формування Всесвіту були лише «найбільш елементарні» частинки і відповідні їм античастинки. Енергією античастинок формувався простір – просторовоподібний (ПП) світ із притаманною йому властивістю розбіжності подій у просторі і, відповідно, властивістю безперервного розширення простору. Кожна матеріальна частка мала імпульс швидкості і в своїй сукупності частки формували часовоподібний (ЧП) світ з властивою йому властивістю збігу подій у просторі.

Саме ця властивість ЧП-світу сприяла формуванню більших матеріальних утворень – преонів, кварків, лептонів, ядер, тощо. Важливо те, що не формувала, а лише сприяла, оскільки для формування необхідно щоб у цьому континуумі з'явилося гравітаційне поле. Появу гравітаційного поля ми пов'язуємо з тим, що у процесі зближення (властивість ЧП-світу до

збігу подій у просторі) частки зіштовхувалися і зупинялися у своєму русі. Тобто рух з рівномірного перетворювався на прискорений.

А оскільки рух з прискоренням відповідно до принципу еквівалентності тотожний прискоренню під дією гравітації, то правомірний висновок, що в даному випадку частина кінетичної енергії, що звільнилася при зіткненні, перетворюється на гравітаційну енергію частинок. І це новостворене гравітаційне поле і сприяє реалізації якості ЧП-світу до збігу подій у просторі і, зрештою, створення більших матеріальних утворень.

Таким чином, саме первинна кінетична енергія частинок формує енергетичні поля зв'язку, що звані гравітаційною, слабкою і сильною взаємодією, електромагнітним полями. Надалі ми не будемо конкретизувати енергія яких полів забезпечує цілісність того чи іншого матеріального утворення, а об'єднаємо всі ці впливу під загальною назвою енергії зв'язку.

6.7. Зірка як закрита система

Виходимо з того, що об'єкти від кварків до зірок, включно, є закритими системами. Те, що об'єкти від кварків до ядер можуть вважатися закритими системами, відомо. Спробуємо довести, що в певному наближенні і зірка може розглядатися як закрита система. Закрита система - це термодинамічна система, яка може обмінюватися з навколишнім середовищем теплом та енергією, але не речовиною, на відміну від відкритої системи, яка обмінюється з іншими тілами як теплом та енергією, так і речовиною [*Закрытая система,2021*].

Але в зірках йдуть хімічні та інші реакції, тому можуть існувати різні види молекул, які утворюються і знищуються в процесі реакції. Тим не менш, зірка залишається закритою, якщо загальна кількість кожних елементарних атомів зберігається незалежно від того, частиною якого типу молекул вони є. Зірки в основному складаються з водню і гелію, причому в молодих зірках водень становить 72-75% маси, а гелій - 24-25%, але з віком частка гелію внаслідок термоядерного синтезу зростає.

На користь припущення про закритість зірок свідчить і те, що, як відомо зі спостережень, вони, як правило, стаціонарні, тобто знаходяться в гідростатичній та термодинамічній рівновазі. Хоч у багатьох зірок і спостерігається зірковий вітер — стаціонарне витікання речовини з атмосфери зірки до космосу. Але це явище в даному випадку не визначальне, для невеликих проміжків часу воно практично не позначається на величині маси зірки, особливо для мало масивних зірок. На користь закритості зірки свідчить і її значна тривалість життя - від кількох мільйонів років для масивних зірок до десятків трильйонів років для звичайних зірок.

Тому будемо вважати, що для зірки виконується умова, яка характерна для закритих систем:

$$M_{0k}c^2 \ll \sum_i m_{0ki}c^2, \quad i = 1, I, \tag{18}$$

де m_{0ki} - маса деякої умовно "елементарної" частинки речовини, з яких складається зірка, I - кількість таких частинок у зірці.

На основі (18) складемо рівність:

$$M_{0k}c^2 = \sum_i m_{0ki}c^2 - E_k. \tag{19}$$

Оскільки основну масу атомів гелію та водню становлять їх ядра, то спрощено вважатимемо, що m_{0ki}– це маса ядра, а E_k – сумарна енергія зв'язку речовини всередині k–ї зірки.

Представимо один із доданків $m_{0ki}c^2$ в рівнянні (19) у вигляді:

$$m_{0ki}c^2 = \sum_j \mu_{0kij}c^2 - E_{ik,} \qquad \mathrm{j} = 1, \mathrm{J}. \tag{20}$$

Оскільки в нашому випадку в якості такої одиниці речовини m_{0ki} виступає атомне ядро, то його складові μ_{0kij} – протони і нейтрони, тобто нуклони, , J – їх кількість, E_{ik} – сумарна енергія зв'язку речовини всередині ядра. Нагадаємо, що в атомному ядрі, як у зв'язаній або закритій системі, сума мас спокою вільних протонів і нейтронів завжди більша за масу спокою утвореного з них ядра.

Продовжуючи цю послідовність, можна записати подібні рівняння для кварків ν_{0kijl} – як складових структури нуклону:

$$\mu_{0kij}c^2 = \sum_l \nu_{0kijl}\, c^2 - E_{ikj,} \qquad l = 1, L \tag{21}$$

а далі для преонів – гіпотетичних частинок у складі кварків, тощо.

6.8. Вираз для темної матерії через енергію зв'язку

Повернемося до виразу (15), що визначає зв'язок між повною енергією спокою галактики - $\mathcal{M}_0 c^2$ та сумарною енергією спокою її зірок - $\sum_k M_{0k}c^2$:

$$\mathcal{M}_0 c^2 = \sum_k M_{0k}c^2 + T + E,\;\; T = \sum_k T_k,\;\; E = \sum_k E_k, \quad k = 1, K\,. \quad (15)$$

Як згадувалося, у сучасних галактиках впливом кінетичної енергії орбітального руху зірок можна знехтувати, основний вплив має енергія зв'язку E. Тому рівняння (15) можна переписати до вигляду:

$$E + T = \mathcal{M}_0 c^2 - \sum_k M_{0k}c^2 \quad = (\mathcal{M}_0 - \sum_k M_{0k})c^2\,, \quad k = 1, K \tag{22}$$

Основна ідея обґрунтування того, що енергія зв'язку речовини в галактиці є темною матерією, полягає в тому, що відповідні вирази енергії зв'язку для галактики як відкритої системи, і суми зірок, як закритих систем, мають протилежні знаки, тому при відніманні не знищуються. З (22) випливає, що різниця між масою галактики та сумою мас її зірок може інтерпретуватися як темна маса. І, друге, темна маса Δm_0 є нічим іншим як поділеною на квадрат швидкості світла енергією зв'язку речовини всередині галактики:

$$\Delta m_0 = \mathcal{M}_0 - \sum_k M_{0k} = (E + T)/c^2 \tag{23}$$

6.9. Оцінка величини складових енергії зв'язку

Проте залишається відкритим питання, чи достатньо всередині галактики величини енергії зв'язку, щоб забезпечити п'ятикратне перевищення маси галактики над сумарною масою її зірок? І з якими складовими речовини зірок вона пов’язана? Вище вже згадувалося про незначний внесок у сумарну енергію зв'язку кінетичної енергії зірок. Оцінимо деякі з відомих нам значень енергій зв'язку.

Ядро є зв'язаною системою нуклонів. Це означає, що сили тяжіння між нуклонами (сильної взаємодії) більші за сили кулонівського відштовхування між протонами. Енергія зв'язку ядра тим більша, що більше в ньому нуклонів. Середня енергія зв'язку, що припадає на один нуклон, дорівнює приблизно 8 МеВ, що не перевищує 1% енергії, що відповідає масі спокою нуклону [*Кузьмичов,1989*]. Тобто, енергію зв'язку ядра так само, як і кінетичну енергію зірок, не доводиться розглядати як суттєву складову темної матерії. Те саме стосується енергії зв'язку електронів в атомі, енергія зв'язку яких значно менша енергії зв'язку нуклонів в ядрі.

Кварки є безструктурними, точковими частинками приблизно в тисячу разів меншими розміру протона. Кварки беруть участь у сильних, слабких, електромагнітних та гравітаційних

взаємодіях. Передбачається, що кварки також складаються з чогось простішого. Робоча назва для гіпотетичних частинок (складових кварків) - преони [*Кварк,2021;Преон,2021*].

Одна з преонних моделей з'явилася 1994 року. У серії вимірювань на колайдерному детекторі (1992 - 1993 роки) було виявлено незрозумілий надлишок джетів з енергіями, що перевищують 200 ГеВ. Експерименти на прискорювачах показали «кварки та лептони є «точковими» аж до відстані близько 10^{-18} м (приблизно 1/1000 від діаметра протона). Незалежно від маси преону, що міститься в такому невеликому об’ємі, його імпульс, відповідно до принципу невизначеності, повинен становити не менше 200 ГеВ, що в 50 000 разів більше, ніж маса спокою u-кварка і в 400 000 разів більше за масу електрона. Таким чином, парадокс полягає в тому, що композитні кварки та електрони, що мають відносно невеликі маси, повинні складатися з більш дрібних частинок, що мають у той же час на багато порядків великі енергії-маси через їх величезні імпульси» [*Преон,2021*].

Нижче записано вираз для енергії спокою кварку $\nu_{0kijl}\, c^2$, представлений через суму енергій спокою преонів $\sum_m \gamma_{0kijlm}\, c^2$ та сумарну енергію зв'язку E_{ikjm} в об'ємі речовини кварку:

$$\nu_{0kijl}\, c^2 = \sum_m \gamma_{0kijlm}\, c^2 - E_{ikjm}, \qquad m = 1, M \tag{24}$$

Це вираз для закритої системи, для якої сумарна енергія спокою преонів і енергія зв'язку мають протилежні знаки. Зрозуміло, що для того, щоб енергія кварку мала позитивне ненульове значення, необхідне виконання умови:

$$\sum_m \gamma_{0kijlm}\, c^2 > E_{ikjm}. \tag{25}$$

У згаданому вище експерименті зроблено висновок про наявність у преонів дуже великих значень імпульсів. Крім цього, стверджується, що «композитні кварки та електрони, що мають відносно невеликі маси, повинні складатися з дрібніших частинок», тобто мається на увазі – з частинок (преонів) з меншими масами, ніж маса композитного кварка. Але в такому разі не виконуватиметься умова (23).

Парадокс чи протиріччя знімається припущенням, що крім великих імпульсів чи у нашому розумінні – великої енергії зв'язку, преони мають й великі маси спокою. При цьому сумі мас спокою преонів можна бути скільки завгодно великою, головне, щоб вона для виконання умови (25) перевищувала поділену на c^2 величину енергії зв'язку.

При цьому необхідне виконання умови – що нижчого рангу частка, тим більша її питома щільність. Найбільшу щільність повинні мати преони, меншу кварки, ще меншу ядра атомів і так далі. Мабуть, більш правильно говорити н**е** про питому щільність маси спокою, а про питому енергію спокою. А, як відомо з теорії Великого Вибуху, ця величина теоретично може приймати як завгодно великі значення.

7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

На закінчення акцентуємо увагу на двох проблемних питаннях. Перше – чому вивчення напруженості зовнішнього гравітаційного поля (прискорення) призводить до визначення не маси спокою тіла, що створює поле, а повної його маси, що враховує енергію зв'язку речовини всередині тіла? І друге – як співвідносяться за величиною маса спокою тіла та його енергія зв'язку?

Маса галактики або окремої зірки, як правило, визначається за величиною прискорень пробного тіла, що викликаються ними, тобто за силою тяжіння. При цьому зазвичай не уточняється, про яку масу йдеться. З вище викладеного стає ясно, що величини одержуваних прискорень і, відповідно, величезна різниця в масах галактики та сумарній масі її зірок, може бути зрозумілою, якщо як масу вважати повну масу або повну енергію тіла. Формула Ньютона,

що використовується при цьому, може бути представлена через повну енергію наступним чином:

$$g = -\frac{\partial\varphi}{\partial r} = \frac{GM}{\left(r+r_g\right)^2} = \frac{G}{c^2}\frac{Mc^2}{\left(r+r_g\right)^2}, \quad r_g = 2GM/c^2 \tag{26}$$

У разі галактики та більшості зірок $r_g \ll r$, тому формула спрощується:

$$g = \frac{G}{c^2}\frac{Mc^2}{r^2} = \frac{G}{c^2}\frac{E}{r^2} \; . \tag{27}$$

Тут $E = Mc^2$ - повна енергія тіла або системи тіл, що викликають прискорення. Для галактики, як відкритої системи формула (27) з урахуванням виразу (15) для повної енергії галактики набуває вигляду:

$$g = \frac{G}{c^2}\frac{\sum_k M_{0k}c^2+T+E,}{r^2}\ , \quad T = \sum_k T_k, \quad E = \sum_k E_k, \qquad k = 1, K \tag{28}$$

Тобто прискорення чи напруженість гравітаційного поля, створювана речовиною галактики, визначається сумою енергій спокою всіх її зірок, а також сумарною кінетичною енергією зірок та сумарною енергією зв'язку, зосередженої у зірках. Для зірки, як закритої системи, формула (27) з урахуванням виразу (19) має вигляд:

$$g = \frac{G}{c^2}\frac{E}{r^2} = \frac{G}{c^2}\frac{\sum_i m_{0ki}c^2-E_k}{r^2}\ , \quad i = 1, I \tag{29}$$

Як бачимо, у разі відкритої системи (28) енергія зв'язку збільшує напруженість зовнішнього гравітаційного поля та, відповідно, визначальну величину маси галактики. У разі закритої системи (29) енергія зв'язку зменшує напруженість зовнішнього гравітаційного поля та, відповідно, визначальну величину маси зірки. Тому саме впливом енергії зв'язку і пояснюється наявність більш ніж 5-кратної відмінності в масі галактики та сумарній масі її зірок.

Щодо другого питання. Галактика як складна чи композитна система організації речовини у своєму еволюційному розвитку формується у бік від найдрібніших композитних систем типу преонів, потім кварків, ядер до великих – планет та зірок. При цьому співвідношення величини маси спокою речовини до величини енергії зв'язку в кожній із названих систем змінюється: маса спокою системи зі збільшенням її рангу зменшується, а величина енергії зв'язку речовини всередині її збільшується.

Найбільшу масу спокою має первісна хмара «найпростіших» або незалежних, точніше «майже незалежних» частинок, що мають масу. Вони характеризуються і найбільшим фізично можливим значенням кінетичної енергії. Створений частинками часовоподібний (ЧП) просторово-часовий континуум сприяє їх зближенню за допомогою реалізації властивості ЧП-світу про можливість збігу двох подій у просторі. При об'єднанні частинок відбувається зменшення їх швидкості руху і, відповідно, кінетичної енергії частинок, що зблизилися. Результатом є поява рівної цьому зменшенню енергії зв'язку, що утримує частки разом.

На цьому рівні пізнання можна припустити, що найбільше зменшення суми кінетичної енергії галактичної хмари частинок відбувається на етапі формування з преонів кварків. При цьому утворилася енергія зв'язку, що утримує преони всередині кварку. Враховуючи великі значення імпульсів преонів, саме ця енергія і є переважною за величиною складовою енергії зв'язку всередині всієї галактики.

Але сумарна маса спокою преонів усередині кварку має бути більшою енергії їхнього зв'язку, оскільки різниця між сумарною масою спокою преонів і енергією їхнього зв'язку становить масу спокою кварка. І, тим не менш, незважаючи на скільки завгодно великі значення сумарної маси спокою складових кварк преонів і настільки ж великі значення їх енергії зв'язку, маса спокою новоутвореного кварку значно менша сумарної маси спокою преонів, що утворюють кварк. Тому саме на цьому рівні організації речовини формується основна за величиною енергія зв'язку галактики, що й визначає, зрештою, перевищення «в рази» маси спокою галактики як відкритої системи над сумою мас спокою зірок, як закритих систем.

Після формування кварків кількість кінетичної енергії, що витрачається на формування лептонів, ядер атомів, планет і зірок, зменшується і становить перші відсотки та частки відсотків загальної енергії зв'язку в галактиці. Проте остання неухильно зростає, а маса спокою закритих систем, що утворюються, таких як ядро атома і так далі аж до зірки, зменшується.

Сумарна кінетична енергія зірок усередині галактики, що спостерігається в даний час, становить частки відсотка початкової сумарної кінетичної енергії «найпростіших» частинок. Якщо знехтувати значеннями кінетичних енергій складових частинок усередині зірок і планет, можна зробити висновок, що кінетична енергія руху зірок – це залишок від початкової кінетичної енергії «найпростіших» частинок, що не перевищує долі відсотка. Все інше пішло на утворення енергій зв'язку, що виявляють себе у вигляді відомих фізичних взаємодій – гравітаційної, електромагнітної, сильної та слабкої ядерних.

Те, що в даний час енергія зв'язку галактик більш ніж у п'ять разів перевищує сумарну енергію спокою складових галактику зірок, означає, що сумарна маса спокою частинок, що становлять такі закриті системи як зірки, планети і так далі, набагато перевищує маси спокою останніх.

Якщо екстраполювати розвиток Всесвіту на майбутнє і припустити, що ця еволюція йде шляхом укрупнення матеріальних утворень, наприклад, планети зіллються із зірками, зірки в галактиках об'єднаються, галактики в сукупності галактик теж, то зрештою маса спокою такої закритої системи буде прямувати до нуля, а її енергія зв'язку збільшиться до того значення енергії, яким характеризувалося первісна вселенська хмара частинок разом із їх кінетичною енергією. В кінцевому рахунку можна допустити навіть умовно «точкову» подію – ту, що передувала Великому Вибуху, з нульовою масою спокою і величезною енергією зв’язку.

8. Висновки

Досліджується фізична природа співвідношення маси та енергії в часовоподібному континуумі, а конкретніше - феномен темної маси, який спостерігається в експериментах і все ще потребує теоретичного обґрунтування. Спроби пояснення фізичної природи темної маси наявністю екзотичних матеріальних об'єктів типу чорних дірок, нових елементарних частинок або зміною формули тяжіння не приводять до задовільних результатів.

На прикладі будови галактики пропонується фізичне пояснення феномену існування темної маси у Всесвіті, яке зводиться до того, що темна маса – це поділена на квадрат швидкості світла енергія зв'язку речовини всередині галактики. Обґрунтовується, що:

- Джерелом енергетичного поля зв'язку речовини є первинна кінетична енергія частинок, що виникла при Великому Вибуху.
- П'ятикратне перевищення маси галактики над сумою мас її зірок свідчить про те, що величина енергії зв'язку речовини галактики щонайменше у п'ять разів більша сумарної енергії спокою її зірок.

Методичним засобом пояснення феномена темної маси є різне співвідношення маси і енергії в теорії відкритих складних (або композитних систем), до яких віднесено галактику, та теорії закритих систем (зірка, атомне ядро, нуклон, кварк, преон).

У разі відкритої системи (галактики) енергія зв'язку збільшує напруженість зовнішнього гравітаційного поля та, відповідно, визначальну величину маси галактики. У разі закритої системи (зірка) енергія зв'язку зменшує напруженість зовнішнього гравітаційного поля та, відповідно, визначальну величину маси зірки. Тому саме впливом енергії зв'язку і пояснюється наявність більш ніж 5-кратної відмінності в масі галактики та сумарній масі її зірок.

На даному рівні пізнання можна припустити, що найбільше зменшення суми кінетичної енергії хмари частинок, що утворилися після Великого Вибуху, відбувається на етапі формування з преонів кварків. При цьому утворилася енергія зв'язку, що утримує преони всередині кварку. Враховуючи великі значення імпульсів преонів обґрунтовується, що саме ця енергія і є переважною за величиною складовою енергії зв'язку і, відповідно, темної маси всередині всієї галактики.

Перспективи подальшого розвитку досліджень слід пов’язувати з поглибленим вивченням співвідношення між масою та енергією зв’язку речовини в ній для відкритих складних (композитних) систем, до яких віднесено галактику, та закритих систем, таких як зірка.

Список літератури:

1) *Гальпер А. М., Гробов А. В., Свадковский И. В.* (2014). Эксперименты по исследованию природы тёмной материи: Учебное пособие. — М.: МИФИ, 2014.

2) *Грин Б. Р.* (2009). Ткань космоса: Пространство, время и структура реальности / Перевод Юрия Артамонова книги «The fabric of the cosmos: space, time and the texture of reality / Brian R. Greene». Random House, Inc., New York, 2004.

3) *Жарков В.Н.* (1983). Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, Гл. редакция физ.-мат. лит., 416 с.

4) *Закрытая система.* (2021). https://ru.wikipedia.org/wiki.

5) *Захаров В.Д.* (2003). Тяготение. От Аристотеля до Эйнштейна. – Москва: БИНОМ. Лаб. знаний.– 278 с.

6) *Карпенко И.В.* (2012).Синергетическая тектоника. 1. Физическая природа глобальных цикличностей // Геофизический журнал. – Т. 34. – № 5. – С. 60–71.

7) *Карпенко, І.* (2022). НОВЕ У ЗАКОНІ ТЯЖІННЯ НЬЮТОНА І ПРИСКОРЕНЕ РОЗШИРЕННЯ ВСЕСВІТУ. International Science Journal of Engineering & Agriculture, 1(3), 161–182.

8) *Карпенко, І.* (2022). ДО ПРИРОДИ СИЛИ ПРИСКОРЕНОГО РОЗШИРЕННЯ ВСЕСВІТУ І ФІЗИЧНОГО МЕХАНІЗМУ УТВОРЕННЯ «КОСМІЧНОЇ ПАВУТИНИ». International Science Journal of Engineering & Agriculture, 1(3), 229–246.

9) *Карпенко, І.* (2022). Інерція як наслідок доповнюваності руху тіла в просторі та часі. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 1, No. 4, 2022, pp. 1-13. doi: 10.46299/j.isjea.20220104.01.

10) *Карпенко, І.* (2022). Просторовоподібний континуум як фізична реальність Всесвіту. International Science Journal of Engineering & Agriculture, 1(4), 56–71. https://doi.org/10.46299/j.isjea.20220104.06

11) *Кварк.*(2021). https://ru.wikipedia.org/wiki.

12) *Кирпичики Вселенной.* (2018). Что такое Бозон Хиггса. https://www.youtube.com/watch?v=h97LAv5eu5g&t=1818s

13) *Кузьмичев В. Е.* (1989).Законы и формулы физики / Отв. ред. В. К. Тартаковский. – Киев: Наук. думка. – 864 с.

14) *Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М.* Теория поля. — Издание 8-е, стереотипное. — М.: Физматлит, 2006. — 534 с.

15) *Логунов А. А.* (2006). Релятивистская теория гравитации. — М.: Наука, — 253 с.

16) *Милгром М.* (1983). Модифицированная ньютоновская динамика – MOND. [https://ru.wikipedia.org/wiki.

17) *Наша галактика.* (2012). Взгляд со стороны (HD) https://www.youtube.com/watch?v=eXUsE1MCBUs
18) *Новиков И. Д.* Эволюция Вселенной – 2-е изд., перераб. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 192 с.
19) *Пантелеев В. Л.(*2001*).* Физика Земли и планет. Курс лекций. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Физический факультет. Москва. 117 с.
20) *Попов Сергей*. (2021). Лекция «Черные дыры»/ https://www.youtube.com/watch?v=Bqf4oiG4tp0
21) *Попов Сергей* . (2019). Лекция «10 главных загадок Астрофизики» https://www.youtube.com/watch?v=gM_5iLJ3bMc&t=6561s
22) *Преон*. (2021). https://ru.wikipedia.org/wiki.
23) *Рубаков В*. (2019). Лекция «Валерий Рубаков. Загадки Вселенной». https://www.youtube.com/watch?v=p7Pj1nkXZzs
24) *Сасскинд Л.* (2013). Битва при черной дыре. Мое сражение со Стивеном Хокингом за мир, безопасный для квантовой механики. – СПб; Питер,. – 448 с.
25) *Темная материя.* (2021). https://ru.wikipedia.org/wiki
26) *Темная материя*. (2018). Space Room. https://www.youtube.com/watch?v=jtL1dFY4Pg0
27) *Sanders R. H.* (2010).The Dark Matter Problem: A Historical Perspective. — Cambridge University Press.
28) *Majumdar D.* (2014). Dark Matter: An Introduction. — CRC Press.

Dark matter as the binding energy of matter

Ivan Karpenko
Ukrainian Oil and Gas Academy (UNGA), Kyiv, Ukraine
ORCID 0000-0002-2500-8960

Abstract. The problem with dark matter or dark mass is that, when observed in experiments, it has no theoretical basis. Attempts to explain it by the presence of exotic material objects, new elementary particles or a change in gravity formulas lead to inconsistent results. The paper offers a physical explanation of the phenomenon of the existence of dark mass. At the same time, the following are used: the known fact of equivalence of mass and energy; the theory of open complex (or composite) systems, to which the galaxy belongs; theory of closed systems (star, atomic nucleus, nucleon, quark, preon); the hypothesis that the primary kinetic energy of particles that arose during the Big Bang is the source of the energy field of connection. It is shown that black mass is nothing more than the binding energy of matter inside the galaxy divided by the square of the speed of light. Approximately, at least a fivefold excess of the mass of the galaxy over the sum of the masses of its stars indicates that the value of the binding energy of the matter of the galaxy is at least five times greater than the total rest energy of its stars. The practical possibility of studying the binding energy inside the matter of the galaxy is due to the fact that the subtraction of the sum of the rest masses of the stars (closed systems) from the rest mass of the galaxy, as an open system, is not accompanied by the subtraction of the corresponding values of the binding energies. This is explained by the fact that the expressions for bond energies in open and closed systems in the corresponding formulas have opposite signs. Therefore, on the contrary, subtracting the sum of the masses of the stars from the mass of the galaxy leads to a practically doubled value of the binding energy (or dark matter). A comparison of the values of the binding energies associated with the kinetic energy of the motion of the stars with the binding energy inside the atom and atomic nucleus shows their insufficiency to explain the amount of observed dark mass. It is assumed that the amount of binding energy sufficient for this is inside the quarks consisting of preons, as evidenced by the experimental values of the preon pulses. The definition of dark mass through the binding energy of the matter of the galaxy explains

why it has only gravitational properties, does not participate in electromagnetic interaction, does not glow and does not absorb light and, accordingly, is inaccessible to direct observation.

Keywords. Dark mass, binding energy, open systems, closed systems, galaxy, star, atomic nucleus, quark, preon.